

# Neu- und Umbau von Sohlwasserdruckmessstellen an der Talsperre Carlsfeld

Stephan Amler

Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, Pirna

**Kurzfassung:** Die Erfassung des anliegenden Sohlwasserdrucks ist wesentlich für die Einschätzung der Standicherheit einer Stauanlage. An der Talsperre Carlsfeld gab es 22 automatisierte Sohlwasserdruckmessstellen, deren Sensoren nach dem Prinzip der Schwingsaite arbeiteten und verloren eingebaut wurden. Viele dieser Messstellen waren für Handmessungen nicht ohne weiteres zugänglich, was dazu führte, dass die automatisch erfassten Messwerte zum Teil nur selten oder gar nicht validiert werden konnten. Diese Situation erforderte Handlungsbedarf und führte zu einem Neu- bzw. Umbau des gesamten Sohlwasserdruckmesssystems gemäß den allgemein anerkannten Regeln der Technik. In diesem Beitrag soll von der Planung bis zur Umsetzung in den Jahren 2021 bis 2022 sowie über Besonderheiten berichtet werden.

## 1. Einleitung

Im sächsischen Erzgebirge, nahe Carlsfeld, befindet sich mit der gleichnamigen Stauanlage die höchstgelegene Trinkwassertalsperre Deutschlands. Sie wurde als gekrümmte Gewichtsstaumauer aus Bruchsteinmauerwerk in den Jahren von 1926 bis 1929 gebaut. In den Jahren von 1997 bis 2000 erfolgte die Hauptinstandsetzung der Mauer. Im Vorfeld und während dieser Maßnahmen entstanden 22 automatisierte Sohlwasserdruckmessstellen, deren Sensoren nach dem Prinzip der Schwingsaite arbeiteten und die verloren eingebaut wurden. Aufgrund der schwierigen Zugänglichkeit der Messstellen konnten die automatisch erfassten Messwerte zum Teil nur selten oder gar nicht validiert werden. Hinsichtlich dieser Problematik, sowie zusätzlich arbeitsschutzrelevanter Bedenken, führte dies zum Entschluss einen Neu- bzw. Umbau zur Erfassung des Sohlwasserdrucks umzusetzen und das Messsystem an die allgemeinen Regeln der Technik anzupassen. In diesem Beitrag soll von der Planung bis zur Umsetzung in den Jahren 2021 bis 2022 sowie über Schwierigkeiten und Besonderheiten berichtet werden.

## 2. Geschichte

### 2.1. Stauanlage

Die Talsperre Carlsfeld liegt im sächsischen Westergebirge oberhalb des Ortes Carlsfeld. Sie wurde nach einer verheerenden Flut 1908 und zur Verbesserung der Trinkwasserversorgung von 1926 bis 1929 neu errichtet. Beim Absperrbauwerk handelt es sich um eine Gewichtsstaumauer aus Bruchsteinmauerwerk mit gekrümmter Achse. Diese wurde als letzte in Sachsen nach dem Intze-Prinzip errichtet. Zwischen den Jahren 1997 bis 2000 erfolgte eine Komplettanierung, bei der unter anderem die gesamte wasserseitige Abdichtung durch ein neues System ersetzt wurde. Dazu wurde im unteren Mauerteil eine Dichtwand aus Stahlbeton mit einem integrierten Kontrollgang geschaffen. Die Talsperre Carlsfeld weist eine Kronenlänge von 194,80 m, einer

Kronenbreite von 5 m, sowie einer Kronenhöhe von 905,55 m ü. NN auf. Die Höhe über Gründungssohle beträgt 31,80 m.



Abb. 1: Blickrichtung vom linken zum rechten Hang auf die Luftseite der Talsperre Carlsfeld

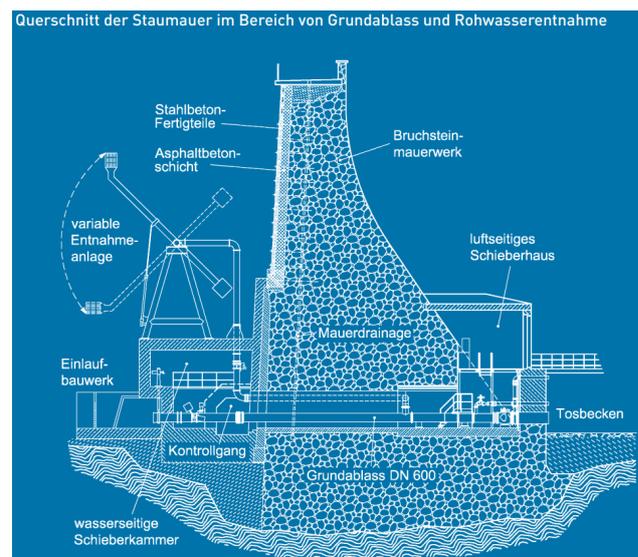


Abb. 2: Mauerquerschnitt im Bereich vom Grundablass nach der Sanierung 1997 bis 2000

## 2.2. Sohlwasserdruck

Bereits während des Baus war der Sohlwasserdruck und sein Einfluss auf das Bauwerk wahrscheinlich ein Thema. Die Bauweise entsprach der nach Otto Intze die keine Untergrundabdichtung vorsieht, dennoch wurde zum einen im linken Hangbereich auf einer Länge von 48 m, zur Dichtung waagerechter Schichtfügen, in 66 Bohrungen Zementeinpessungen durchgeführt und zum anderen eine Sohl-Drainage im Gründungsbereich eingebaut. Diese Maßnahmen waren aufgrund der geologischen Verhältnisse des Eibenstocker Granits mit seinen Längs-, Quer- und Diagonalklüften jedoch erforderlich. Die Sohl-Drainagen verlaufen alle im Bereich der Mauermitte und führen von der Gründungssohle schräg bis auf Höhe des Grundablasses. Jedoch sind der genaue Verlauf und die tatsächliche Lage nicht bekannt. Alle Drainagen enden in einer Sammelleitung (DN 300) und münden jeweils nach linken und rechten Hang getrennt im Grundablass. Vereinzelt wurde über die Jahre der Sohlwasserdruck mittels Manometer gemessen, indem beide Rohrenden im Grundablass für mehrere Stunden verschlossen werden konnten. Die Ergebnisse dieser Messungen waren jedoch

nicht besonders aussagekräftig, weshalb im Vorfeld der Hauptinstandsetzung der Staumauer 1996 insgesamt 16 automatisierte Sohlwasserdruckmessstellen über die Aufstandsfläche flächig installiert wurden (siehe Abb.3). Diese funktionierten nach dem Prinzip der Schwingsaite und waren verloren eingebaut, was bedeutet, dass die Sonden im Ringraum einzementiert wurden. Die damalige Situation erforderte den Bau von 11 Sohlwasserdruckmessstellen vor allem im Bereich der HWE (Hochwasserentlastung), wodurch diese nur über das Tosbecken erreichbar waren. Während der Sanierung wurden vom neuen Kontrollgang aus weitere sieben Sohlwasserdruckmessstellen geschaffen und sechs mit Schwingsaitensensoren und eine mit einem anderen Druckgeber ausgestattet.

Im Verlauf der Zeit zeigten zahlreiche Messstellen inkonsistente Werte oder wiesen deutliche Sprünge auf. Aufgrund fehlender Messeinrichtung und arbeitsschutzrelevanter Bedenken waren Handmessungen zu Kontrollzwecken nur eingeschränkt durchführbar. Dieser Zustand erforderte Handlungsbedarf und führte zur Planung eines neuen Systems zur Messung des Sohlenwasserdrucks.



Abb. 3: Punktueller Darstellung zur Lage der 16 Messstellen (Oberflur)

## 3. Planung

### 3.1. Vorplanung

Während der Vorplanungsgespräche wurde deutlich, dass neue Bohrungen vom Kontrollgang aus zwangsläufig Schäden an den bestehenden Sohlwasserdruckmessstellen, dem Sickerwasserleitungssystem und dem Sohlwasserleitungssystem verursachen können. Eine genaue Kenntnis zu deren Verlauf war somit erforderlich. Zwar lagen Pläne zum Verlauf vor, jedoch fehlte eine umfassende Gesamtdarstellung. Diese Problematik führte letztendlich zur Umsetzung eines 3D-Modells der Staumauer, was die Planung der Bohransatzpunkte und das Abteufen der Bohrungen wesentlich vereinfachen sollte. Für die Planung wurde ein Draht-Kantenmodell verwendet, da es die, für Umbauplanungen und Kollisionserkennungen reinen Geometriedaten ohne weiterführende Information zum Objekt beinhaltet. Es bleibt zu betonen, dass hierzu Vermessungen und

Kamerabefahrungen des Sohl- und Sickerwassersammelsystem, soweit möglich, nötig waren. Der Versuch einer Kamerabefahrung entlang der Sohlsammeldrainage vom Grundablass aus, um die Verbindungsrohre zu den einzelnen Sohl-Drainagen zu lokalisieren, scheiterte jedoch an starken Verunreinigungen und Inkrustation. Somit blieb die präzise Position der Sohl-Drainagen weitgehend unbekannt und basierte hauptsächlich auf alte Bestandsunterlagen.

Die Entwicklung und Realisierung des 3D-Modells erfolgte in enger Zusammenarbeit mit einem Planungsbüro. Während dieses Prozesses konnten vereinzelte Widersprüche in den alten Bestandsplänen erkannt und korrigiert werden.

### 3.2. Planung

Die Zielsetzungen in der ersten Planungsphase umfassten die Minimierung von Schäden durch das Anbohren der Sammelleitungssysteme, die Festlegung geeigneter

Standorte der Bohransatzpunkte, sowie die Bestimmung der Bohrlängen die im Bereich der alten Messstellen enden sollten. Mit dem Erreichen der Gründungsfuge war eine Überbohrung von ca. 3 m vorgesehen. Darüber hinaus musste geprüft werden, ob möglicherweise einzelne Messnischen erforderlich waren. Die genannten Rahmenbedingungen legten zwar die Bohrwinkel und -längen fest, allerdings bestand die Herausforderung darin, ausreichend Platz für die Bohrlafette zu gewährleisten.

In der zweiten Planungsphase wurde der Ausbau der Messstellen mit einem DN50-PVC-Filterrohr samt anschließendem DN50-PVC-Vollwandrohr und einem etwa 1 m langen DN50-Edelstahlrohr als Abschluss vorgesehen. Der verbleibende Ringraum sollte oberhalb ab Gegenfilter mit einer Zementsuspension verfüllt werden. Die dritte Planungsphase für den Ausbau der

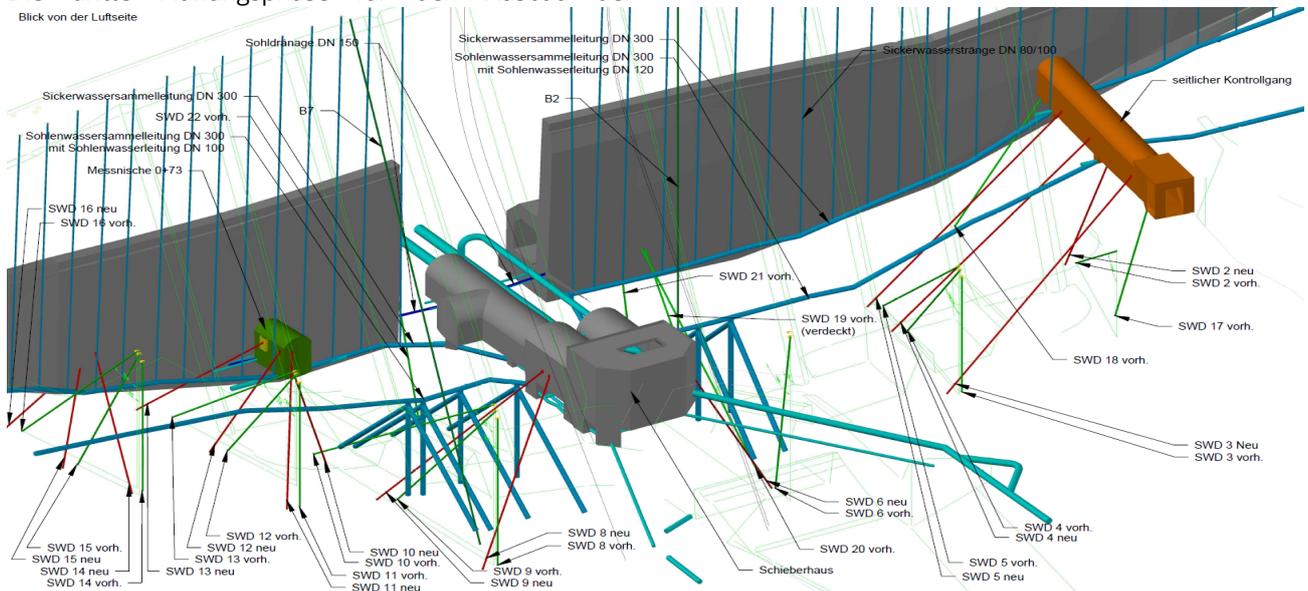


Abb. 4: 3D-Darstellung der Staumauer mit dem Verlauf der Sohl- und Sickerwassersammelleitung, sowie der alten und neuen geplanten Messstellen

## 4. Bauphase

### 4.1. Bohrung



Abb. 5: Bohrlafette mit Bohrergerät im Grundablass

Vor Beginn der Bohrung wurde eine Lafette angebracht, an der das Bohrergerät befestigt und der Bohrwinkel eingestellt wurde. Die Bohrung erfolgte schrittweise in Meterabständen mit kontinuierlicher Bohrkernentnahme, sowohl für geologische Untersuchungen als auch zur Bestimmung der Gründungsfuge.

Messstellenköpfe erfolgte sowohl während als auch nach der Bohrphase. Obwohl Rückschlüsse über die wahrscheinlichen Druckverhältnisse an den neuen Messstellen möglich waren, wurde dennoch darauf geachtet auf eventuelle kurzfristige Änderung reagieren zu können. Für die Automatisierung der Messstellen waren Drucksonden vorgesehen. Zur Validierung der automatisch erfassten Messwerte sollten Manometer bzw. Möglichkeiten zur Messung mit einem Lichtlot umgesetzt werden. Bei allen messtechnischen Komponenten lag der Fokus auf der Möglichkeit, defekte Baugruppen bei Bedarf in Eigenleistung zu ersetzen.

Der Rückbau sämtlicher Alt-Messstellen war als abschließende Phase des Projekts vorgesehen, da einige von ihnen während der Bohrung auch weiterhin zur Überwachung dienen sollten.

Diese gewonnenen Erkenntnisse dienten zudem der Optimierung des 3D-Modells. Während der Bohrungen wurde eine dauerhafte Überwachung sichergestellt, die neben der Kontrolle des Spülwassers auch visuelle Kontrollen der Sohl- und Sickerwasserschächte sowie die messtechnische Überwachung durch die vorhandenen Sohlwasserdruckmessstellen umfasste.

Insgesamt wurden 16 Bohrungen abgeteuft. Bei einer dieser Bohrungen trat ein ernstes Problem auf, als eine Sohl- und Sickerwasserschächte angebohrt wurde. Dies zeigte sich durch den sofortigen Spülwasserverlust sowie einem schnellen Anstieg der Sohlwassermenge. Basierend auf diesen neuen Erkenntnissen wurde das Modell angepasst, und eine zusätzliche Bohrung mit einem etwas tieferen Bohransatzpunkt umgesetzt. Die Bohrung wurde nicht wieder verschlossen, sondern als Möglichkeit zur Spülung der Sohl- und Sickerwasserschächte beibehalten und mit einem DN50-PVC-Rohr ausgebaut.

Des Weiteren wurde an einem Bohrkern ein bereits mit Zementverfülltes Sohl- und Sickerwasserschächte entdeckt. Eine

Überprüfung alter Bohrunterlagen ergab, dass in diesem Bereich Probebohrungen für geophysikalische Messungen durchgeführt wurden. Einige dieser Bohrungen sind zum Teil wieder mit einer Zementsuspension verfüllt worden. Diese Information erwies sich als soweit hilfreich, da sie die Ursache für die starken Verunreinigungen im Sohldrainagerohr erklärte.

Mit Beendigung jeder Bohrung erfolgte eine Spülung und bei Bedarf eine visuelle Kontrolle mittels Kamerabefahrung. Ebenfalls fand eine Einmessung statt, ob die Bohrlänge und der Bohrwinkel mit der Planung übereinstimmt. Anschließend wurde die Bohrung für den weiteren Ausbau freigegeben.

#### 4.2. Ausbau

##### Verrohrung

Nach Abschluss der Bohrungen, der Analyse aller Bohrkerns und der Kategorisierung der Messstellen hinsichtlich ihrer Artesik (artesisch, nicht artesisch oder bedingt artesisch), erfolgte der Ablaufplan für den Ausbau. Dieser enthielt spezifische Angaben für jede Messstelle, darunter die Filterstreckenlänge, die Filterart, der Rohrlänge sowie der Ausgestaltung der Messstellenköpfe zur messtechnischen Überwachung.

Die in der zweiten Planungsphase erarbeiteten Grundlagen erweisen sich bei sechs Messstellen als nicht mehr zielführend. Der ursprünglich geplante, konventionelle Ausbau von Wasserstandmessstellen mit Filterrohr, Filterkies und einem Gegenfilter aus Sand gestaltete sich aufgrund der relativ flachen Bohrungen und der Bohrlängen von teils über 10 m als herausfordernd. Zudem wiesen die Bohrlochwände teils starke Zerklüftungen und Ausbrüche auf (siehe Abb.6).



Abb. 6: SWD-Bohrung mit starken Ausbrüchen.

Angesichts dieser Sachlage wurden alle Messstellen erneut geprüft. Für Messstellen, bei denen im geplanten Filterstreckenbereich festes Gestein vorhanden war, wurde ein geschlitztes Filterrohr verwendet. Alle übrigen Messstellen erhielten ein Kiesummanteltes Filterrohr. Die Baufirma schlug als Gegenfilter einen von ihnen entworfenen Silikonring vor. Das Prinzip basiert auf dem Anpressen der äußeren Lamellen an die Innenwand des Bohrlochs durch den Druck des eingefüllten Zements. Die Herstellung des Dichtungsringes erfolgte mittels

eines 3D-Druckers, was individuelle Größen ermöglichte und somit diese Ausbauvariante bevorzugt wurde. Als zusätzliche Sicherheitsmaßnahme wurde ein weiterer Dichtungsring im Abstand von etwa 10 cm angebracht.



Abb. 7: Gegenfilter aus Silikon am DN50-PVC-Rohr

Alle übrigen Messstellen erhielten nach der mit Filterkies versehenen Filterstrecke als Gegenfilter eine 0,5 m dicke Schicht aus Quarzsand. Der darauffolgende Ausbau gestaltete sich bei allen Messstellen identisch.

Um sicherzustellen, dass sich die Rohre beim Einsetzen nicht verkannten oder verbiegen und ausreichend Ringraum vorhanden bleibt, wurden in regelmäßigen Abständen Abstandhalter angebracht. Gleichzeitig wurde ein Schlauch mitgeführt, über der die Zementsuspension eingebracht worden ist.



Abb. 8: DN50-PVC-Vollrohr mit Abstandhalter und Schlauch

Als Endstück diente ein 1 m langes DN50-Edelstahlrohr mit einem Abschlussdichtring. Der Dichtring bestand aus zwei Edelstahlscheiben, zwischen denen sich ein Silikonring befand. Durch das Anziehen der Muttern presste sich der Dichtring über Schrauben zusammen und verschloss so das Loch (Abb. 9).



Abb. 9: Rohrendstück aus Edelstahl mit Abschlussdichtring

Dabei wurden zwei Öffnungen am Dichtring belassen. Einen für den Injektionsschlauch und einen zum Entlüften. Die Verfüllung des Ringraums durch Einbringen einer Zementsuspension erfolgte unter Druck mittels einer Pumpe. Aufgrund der starken Zerklüftungen wurden alle benachbarten, noch unverrohrten Bohrungen während des Verpressvorgangs gespült.

Der weitere Ausbau erfolgte durch Einhängen der Drucksonden bis auf die vorgesehene Endtiefe, wobei das Messkabel herausgeführt wurde. Bei nicht artesischen Messstellen wurde zusätzlich ein PEHD-Leerrohr zur Lichtlotführung eingesetzt, um zu verhindern, dass das Lichtlot am Kabel der Drucksonde hängenbleibt. Anschließend begann der Ausbau der Messstellenköpfe.

##### Messstellenköpfe

Die Zuordnung für den Ausbau der Messstellenköpfe erfolgte nach der Einstufung ihrer Artesik. Alle Messstellen

erhielten ein aus Edelstahl gefertigtes T-Stück. Das Messkabel der Drucksonden tritt am Kopfende aus und führt zu einem Verteilerkasten. An den artesischen Messstellen befindet sich am seitlichen Ausgang ein Entwässerungshahn und ein Manometer.



Abb. 10: Ausbauf orm einer artesischen Sohlwasserdruckmessstelle mit Manometer

Die nicht artesischen Messstellen wurden am oberen Ende zusätzlich mit einem Kugelhahn ausgestattet, an dem das Lichtlot eingeführt wird. Auch hier befindet sich eine seitlich angebrachte Entwässerungsmöglichkeit.



Abb. 11: Ausbauf orm einer nicht artesischen Sohlwasserdruckmessstelle mit Kugelhahn

Aufgrund rechnerischen Annahmen stellte sich bei einigen neuen Messstellen heraus, dass sie nicht dauerhaft artesisch sein können. Für diese Messstellen erfolgte der Ausbau weitgehend dem Prinzip der artesischen Messstellen. Zusätzlich wurde ein Entlüfter und eine Möglichkeit zur Lichtlotmessung verbaut.



Abb. 12.: Ausbauf orm einer nicht dauerhaft artesischen Messstelle mit Entlüfter

Die Modernisierung der sechs innenliegenden alten Messstellen erfolgte nach dem gleichen Prinzip. Da auch hier die Schwingsaitensensoren im Ringraum einbetoniert sind, ergab sich genügend Platz zum Einhängen der Drucksonde.



Abb. 13: verbliebene Messstelle nach der Sanierung

Bei der Vorplanung wurde bereits berücksichtigt, dass alle messtechnischen Komponenten bei Bedarf in Eigenleistung ersetzt werden können, was auch baulich umgesetzt wurde.

#### Messtechnische Ausstattung

Die messtechnische Ausrüstung umfasst sowohl Drucksonden als auch stationäre Manometer. Die Drucksonden arbeiten auf Basis eines piezoresistiven Aufnehmers, wobei der integrierte Prozessor einen 16-Bit-D/A-Wandler für analoge Ausgangssignale (4 bis 20 mA) enthält. Durch eine digitale Schnittstelle (RS485) wurden alle Drucksonden mit der speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) verbunden. Anschließend erfolgt die Integration in das Prozessleitsystem (PLS), was die Steuerungsmöglichkeiten der SPS ermöglicht. Hier können die Parametrisierungs- und Offsetdaten hinterlegt werden. Dies ermöglicht einen in Echtzeit abfragbaren Wasserstand. Der Messbereich der gewählten Drucksonden liegt zwischen 0,8 und 2,3 bar. Als Manometer wurden Feinmessmanometer mit Rohrfedermessglied

verwendet. Ihr Messbereich erstreckt sich von 0 bis 1 bar bzw. 0 bis 4 bar mit der Genauigkeitsklasse 0,25.

### 3.1. Rückbau

Nach Abschluss des Ausbaus der Messstellen erfolgte der Rückbau aller alten Messstellen. Vor dem Eintrag der Zementsuspensions wurde eine etwa 3 m mächtige Kiesschicht eingebracht. Dieser Schritt erfolgte aufgrund der geologischen Bedingungen, da nicht auszuschließen war, dass Zement den umliegenden Gründungsbereich beeinträchtigt. Die Rohrenden wurden bündig mit der Außenwand abgetrennt und anschließend mit Zement verfüllt. Auf diese Weise wurden alle 14 der außenliegenden alten Messstellen frostsicher verschlossen.



Abb. 14: Gerüste im Tosbecken während des Rückbaus der alt-Messstellen

## 4. Zusammenfassung und Fazit

An der Talsperre Carlsfeld wurden 15 Sohlwasserdruckmessstellen neu gebort, sowohl vom Kontrollgang als auch vom Grundablass aus. Sieben alte Messstellen, die sich bereits im Kontrollgang befanden, wurden entsprechend den Anforderungen umgebaut. Insgesamt sind nun 22 Sohlwasserdruckmessstellen mit Drucksensoren ausgestattet und verfügen über die Möglichkeit zur Validierung der automatisch erfassten Messwerte, entweder mittels Manometer oder Lichtlot. Damit ist eine Situation geschaffen worden, die sich an den allgemein anerkannten Regeln der Technik orientiert. Durch die modulare Bauweise besteht in Zukunft jederzeit die Möglichkeit, defekte Baugruppen bei Bedarf in Eigenleistung zu ersetzen.

Die Umsetzung eines 3D-Modells zur Planung der Bohransatzpunkte und Bohrverläufe der neuen Sohlwasserdruckmessstellen ermöglichte die Durchführung des Projekts ohne größere Schäden am gesamten Sammelleitungssystem. Ebenso konnte der Eingriff ins Bauwerk, beispielweise durch zusätzliche Messnischen minimiert werden.

Schlussendlich ist mit dem Abschluss des Neu- und Umbaus der Sohlenwasserdruckmessstellen und deren technischer Ausstattung die Qualität zur Aussage des anliegenden Sohlwasserdrucks gestiegen, was die Einschätzung zur Standsicherheit erhöht.

## Danksagung

Eine Danksagung erfolgt an die Projektpartner für die gute Zusammenarbeit. Insbesondere an das Ingenieurbüro Melioplan. Weiterhin bedanken wir uns bei der Bohrfirma Pruy-KG, sowie dem Ingenieurbüro IBTW-Dresden.

## Literaturverzeichnis

- [1] Sieber, Hans-Ulrich (1992): *Talsperren in Sachsen*, Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, Pirna
- [2] Königeter, J., Heimerl, S., Kohler, B., Ebert, M. Libisch, C., (2013): *Talsperren in Deutschland*, Deutsches TalsperrenKomitee e.V, Springer Vieweg, Dresden.
- [3] Stephan (1985): *Aktennotiz über den Stand der Arbeiten und die Ergebnisse der Versuchsinjektion im luftseitigen Vorfeld der TS Carlsfeld per 1.10.85*, Talsperreninspektion WWD Obere Elbe-Neiße, Gersdorf
- [4] Fleischer U. (2013): *Messanweisung Sohlenwasserdruck an der TS Carlsfeld*; Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, Pirna